

ЧАСТОТА ДЫХАНИЯ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ В БИООБРАТНОЙ СВЯЗИ

А.Л. Кулик¹, А.К. Задержин², В.И. Шульгин², Н.И. Яблучанский¹

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина

²Национальный Аэрокосмический Университет имени Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина

На 4 здоровых добровольцах в возрасте от 22 до 29 лет (2 мужчины и 2 женщины) с индексом массы тела от 21 до 23 изучены индивидуальные особенности и общие закономерности частотной зависимости ВСР. Показано, что частота метрономизированного дыхания существенно влияет на мощность и структуру спектра ВСР и регуляцию в целом. Повышение LF спектра ВСР происходит при дыхании с частотой 5-8 в минуту. Повышение HF спектра ВСР происходит при дыхании с частотой 9-13 в минуту. Изменения TP ВСР в большей мере связаны с LF и меньшей – HF. Биологическая обратная связь с разными программами изменений частоты метрономизированного дыхания может быть мощным инструментом вмешательства в регуляцию и повышения качества жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вариабельность сердечного ритма, биофидбек, частота дыхания.

ЧАСТОТА ДИХАННЯ ТА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ЗДОРОВИХ ДОБРОВОЛЬЦІВ У БІОЗВОРОТНОМУ ЗВ'ЯЗКУ

О.Л. Кулик¹, О.К. Задержин², В.И. Шульгин², М.И. Яблучанский¹

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

²Національний Аерокосмічний Університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна

На 4 здорових добровольцах в віці від 22 до 29 років (2 чоловіки і 2 жінки) з індексом маси тіла від 21 до 23 вивчені індивідуальні особливості та загальні закономірності частотної залежності ВСР. Показано, що частота метрономізованого дихання суттєво впливає на потужність і структуру спектра ВСР і регулювання в цілому. Підвищення LF спектру ВСР відбувається при диханні з частотою 5-8 на хвилину. Підвищення HF спектра ВСР відбувається при диханні з частотою 9-13 в хвилину. Зміни TP ВСР в більшій мірі пов'язані з LF і в меншій – HF. Біологічний зворотній зв'язок з різними програмами змін частоти метрономізованого дихання може бути потужним інструментом втручання в регулювання та підвищення якості життя.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: вариабельність серцевого ритму, біофідбек, частота дихання

RESPIRATION RATES AND HEART RATE VARIABILITY IN HEALTHY VOLUNTEERS IN BIOFEEDBACK CONNECTION

A.L. Kulik¹, A.K. Zaderihin², V.I. Shulgin², M.I. Iabluchanskyi¹

¹V.N. Karazin Kharkov National University, Ukraine

²National Aerospace University, named by N. E. Zhukovskii «Kharkov Aviation Institute», Ukraine

At the 4 healthy volunteers aged 22 to 29 years (2 men and 2 women) with a body mass index from 21 to 23 individual characteristics and general regularities of heart rate variability (HRV) frequency dependence were examined. It is shown that the frequency of paced breathing significantly affects the power and structure of the HRV spectrum and regulation in general. Increasing of LF domain of the HRV occurs on breathing frequencies 5-8 per minute. Increasing of HF domain of HRV occurs on breathing frequencies 9-13 per minute. Changes in TP of HRV are more related to the LF and less to HF domain. Biofeedback with different programs of changing in the paced breath frequency can be a powerful tool of intervention in the regulation and quality of life.

KEY WORDS: heart rate variability, biofeedback, breathing frequency

Уровень здоровья человека напрямую зависит от качества и режимов функционирования регуляторных систем [2, 5, 8].

Неинвазивным методом оценки состояния регуляторных систем является вариабельность сердечного ритма (ВСР) [3, 11, 15].

Разными методами можно вмешиваться в состояние регуляторных систем, среди которых одним из наиболее контролируемых и эффективных оказывается управление дыханием [9, 11, 14].

Ядра блуждающих нервов расположены близко к дыхательным и находятся под их влиянием [15]. Активация дыхательных

ядер, например, метрономизацией частоты ствие на ядра блуждающих нервов и их активность повышается. В этом находит объяснение положительное влияние различных дыхательных техник на уровень здоровья человека [4, 7, 11, 14], и именно поэтому вмешательства в частоту дыхания используются как один из наиболее эффективных инструментов биообратной связи.

Притом, что проблеме взаимоотношений в частоте дыхания и спектральной мощности ВСР посвящен ряд исследований, в них внимание концентрируется на их отдельных свойствах, и в целом она не рассматривается.

Исследование выполнено в рамках НИР ХНУ «Разработка и исследование системы автоматического управления вариабельностью сердечного ритма» № госрегистрации 0109U000622.

Цель исследования. Установить индивидуальные особенности и общие закономерности частотной зависимости ВСР у здоровых добровольцев как основу построения эффективных техник биообратной связи в задачах повышения качества регуляторных систем человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 4 здоровых добровольца в возрасте от 22 до 29 лет (2 мужчины и 2 женщины), с индексом массы тела от 21 до 23. Частота сердечных сокращений варьировала от 81 до 85 в минуту, артериальное давление находилось в диапазоне – 100/60 и 120/80 мм рт.ст.

У всех испытуемых с помощью компьютерного диагностического комплекса «CardioLab 2009» («ХАИ-Медика») с частотой дискретизации сигнала 1000 Гц проводилось по 10 мониторных записей ЭКГ на трехминутных интервалах. Записи производились в положении сидя, сначала на фоне спокойного немодулированного дыхания (СНД) и затем при метрономизированном (модулированном)

дыхания оказывает стимулирующее действие на частоту 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 и 13 дыханий в минуту (ЧД). Ритм дыхания задавался метрономом, встроенным в программу «CardioLab 2009».

Полученные интервалограммы (ритмограммы) при помощи быстрого преобразования Фурье раскладывали на три типа волн: медленные (VLF) – частотой от 0,0033 до 0,05 Гц, средние (LF) – от 0,05 до 0,15 Гц и быстрые (HF) – от 0,15 Гц до 0,40 Гц. Считается, что медленные волны преимущественно связаны с терморегуляцией, гуморальной (калликреинкининовая, ренин-ангиотензиновая, гормональные, иные) регуляцией и симпатическим звеном вегетативной нервной системы; средние и быстрые – преимущественно с вегетативной нервной системой: средние больше с симпатическим и быстрые – парасимпатическим звеном; при этом функционально регуляция является единым неделимым оркестром [15].

На каждом трехминутном интервале изучались средняя частота сердечных сокращений (ЧСС) и следующие показатели ВСР: общая мощность (TP, мс^2) спектра ВСР, мощности спектров доменов низких (VLF, мс^2), средних (LF, мс^2) и высоких (HF, мс^2) частот, соотношение LF/HF как мера симпатовагального баланса и соотношение VLF/(LF+HF) как мера гуморальновегетативного баланса.

В программе Microsoft Excel 2003 по каждому добровольцу проводилось построение графиков изменения ЧСС и показателей ВСР в зависимости от частоты дыхания. Графики анализировались с учетом индивидуальных и общих закономерностей в изменениях исследуемых показателей, в том числе по половым признакам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показан график зависимости ЧСС добровольцев от ЧД. С изменением ЧД ЧСС практически не изменяется.

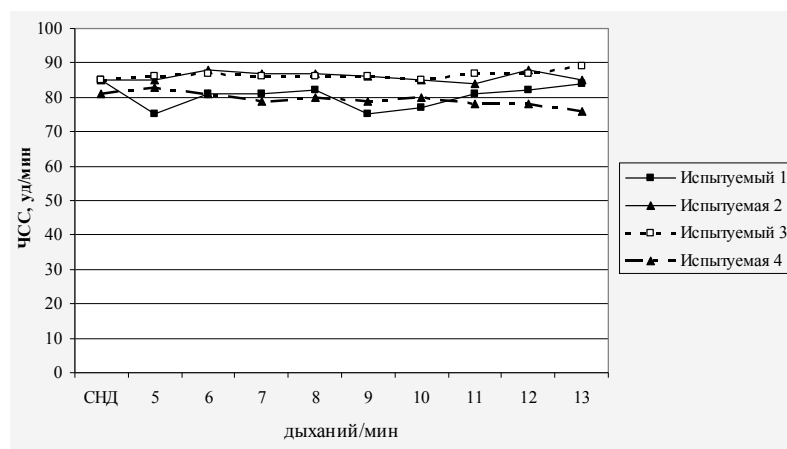


Рис. 1. Реакция ЧСС на изменение ЧД.

На рис. 2 представлена реакция ТР ВСР на изменение ЧД. У мужчин и женщин паттерны изменения ТР ВСР слегка различаются. У мужчин максимальный подъем ТР ВСР приходится на частоты 5, 6 и 7 дыханий в минуту и при дальнейшем повышении частоты дыханий она постепенно снижается. У женщин на фоне

подобной реакции отмечается новый пик повышения ТР ВСР на частотах 12 и 13 дыханий в минуту.

На рис. 3 показаны изменения VLF ВСР на этапах повышения ЧД. Они носят колебательный характер с тенденцией повышения с ростом ЧД.

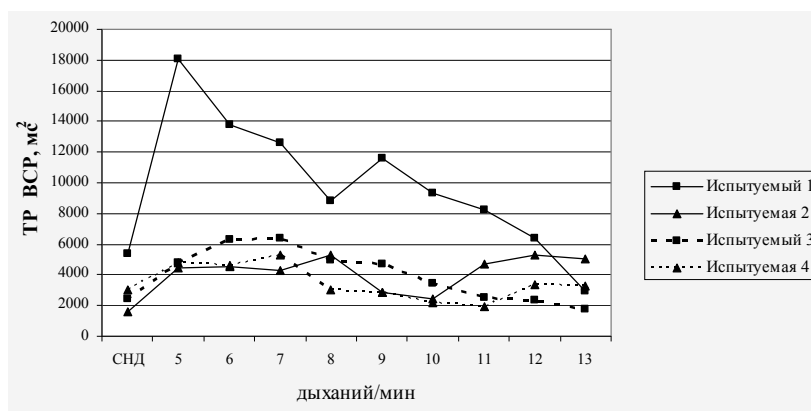


Рис. 2. Реакция ТР ВСР на изменение ЧД.

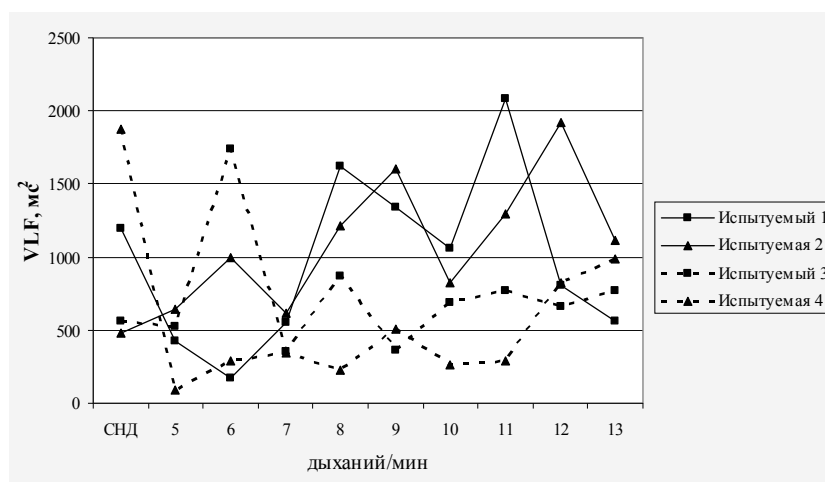


Рис. 3. Реакция VLF ВСР на изменение ЧД.

На рис. 4 показана реакция LF ВСР на изменения ЧД. Можно видеть четкое повышение LF ВСР в диапазоне ЧД 5-8

дыханий в минуту с возвращением к исходным значениям при дальнейшем (9-13 дыханий в минуту) повышении ЧД.

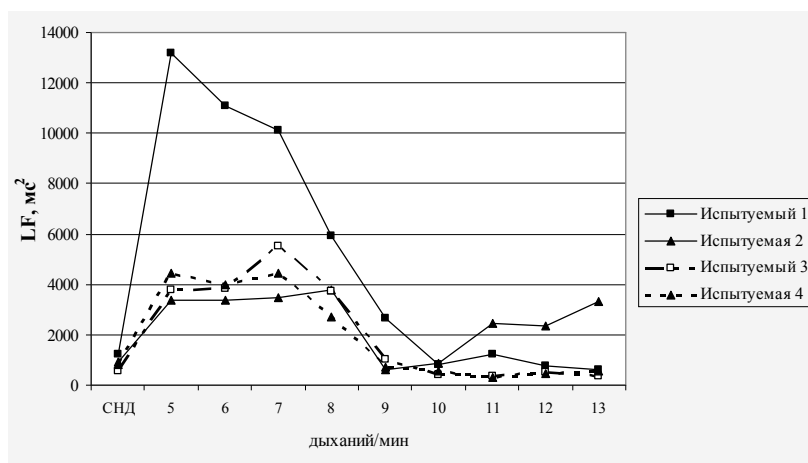


Рис. 4. Реакция LF BCP на изменение ЧД.

На рис. 5 представлена реакция HF BCP на изменения ЧД. HF BCP не реагирует на изменения ЧД в диапазоне 5-8 дыханий в минуту, и повышается с ЧД в 9 дыханий в минуту, и постепенно снижается на ЧД в 11-13 дыханий в минуту. На рис. 6 представлена реакция соотношения LF/HF на изменение ЧД. Графики по своей форме повторяют графики для LF BCP.

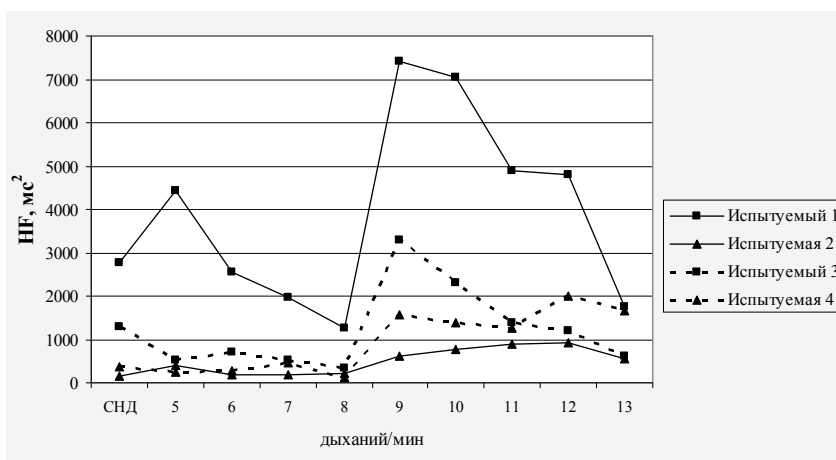


Рис. 5. Реакция HF части спектра на изменение частоты дыхания.

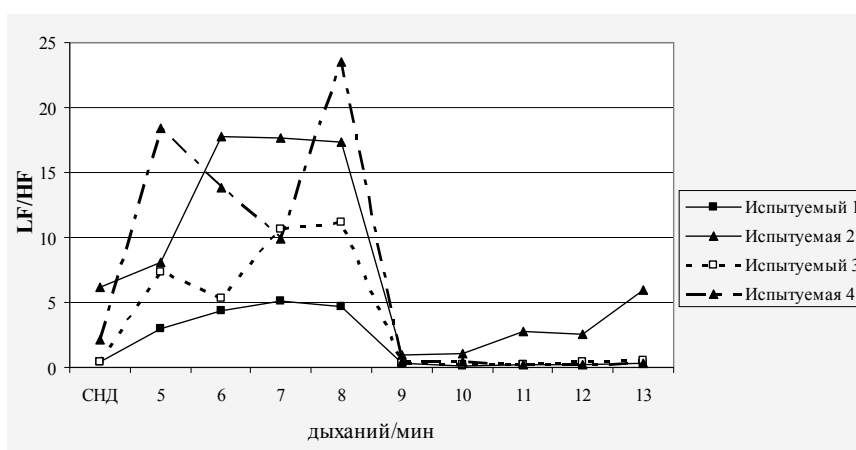


Рис. 6. Реакция соотношения LF/HF на изменение частоты дыхания.

На рис. 7 представлена реакция соотношения VLF/(LF+HF) на изменение ЧД. Изменения соотношения VLF/(LF+HF) подобны изменениям VLF и носят колебательный характер с тенденцией роста с увеличением ЧД.

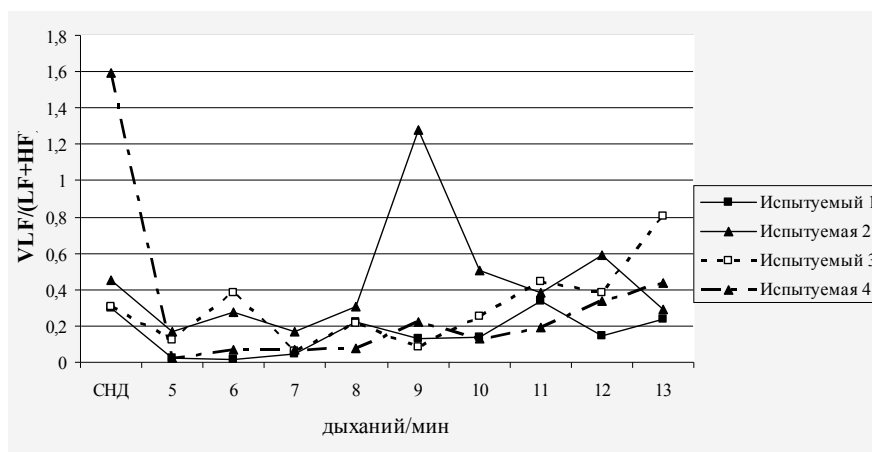


Рис. 7. Реакция соотношения $VLF/(LF+HF)$ на изменение ЧД.

Ритмическое дыхание с определенной частотой у здоровых людей приводит к появлению на спектре ВСР пика метрономизированных сердечных волн такой же частоты [1, 3, 5, 6], что подтверждено нашим исследованием.

Наше исследование, которое показало зависимость ТР ВСР от ЧД, а также то, что повышение значений LF происходит при ЧД 5-7 в минуту (0,83-0,11 Гц) и HF на более высоких частотах дыхания (9-11 дыханий в минуту), дает основания для управления мощностью и структурой ВСР через механизмы биообратной связи. Другими словами, с помощью подбора адекватной частоты дыхания вполне возможно изменять ТР ВСР, усилить HF или LF составляющие ее спектра.

Определенного внимания заслуживает частота 9 дыханий в минуту, так как она соответствует частоте сердечных волн 0,15 Гц, которая лежит на стыке LF и HF доменов спектра ВСР и её использование позволяет воздействовать на показатели двух доменов сразу.

Изменение мощности VLF области спектра ВСР путем подбора адекватной частоты дыхания затруднено, поскольку для воздействия на нее частота дыхания должна составлять 3 в минуту и менее. В [4] было продемонстрировано, что использование специальных йоги-методик медленного дыхания приводит к значительному росту мощности VLF. С другой стороны, нами отмечена тенденция к повышению VLF с увеличением ЧД, что можно использовать для более тонкой оптимизации соотношений всех трех частотных областей спектра ВСР.

Полученные нами данные о реакции ТР ВСР на изменение частоты дыхания соответствуют данным [2, 7, 9, 10, 12, 13]. Увеличение ТР ВСР на низких частотах дыхания (5-6 в минуту) происходит, в

основном за счет LF составляющей, а последующее снижение ТР связано с падением LF на частотах (7-9 дыханий в минуту), которое не компенсируется ростом HF на более высоких частотах (9-13 дыханий в минуту), что необходимо учитывать при подборе методики дыхания.

Полученные нами результаты показывают принципиальную возможность построения индивидуализированных методик управления ВСР с повышением общего уровня здоровья.

Практическое отсутствие изменений ЧСС при явных изменениях в спектре ВСР мы объясняем тем, что в пробах с метрономизированным дыханием влияния реализуются через взаимодействие ядер дыхательного центра с ядрами блуждающего нерва [15].

ВЫВОДЫ

1. Частота метрономизированного дыхания существенно влияет на мощность и структуру спектра ВСР и, следовательно, регуляцию в целом.
2. Повышение LF спектра ВСР происходит при дыхании с частотой 5-8 в минуту.
3. Повышение HF спектра ВСР происходит при дыхании с частотой 9-13 в минуту.
4. Изменения ТР ВСР в большей мере связаны с LF и меньшей – HF.
5. Биологическая обратная связь с разными программами изменений частоты метрономизированного дыхания может быть мощным инструментом вмешательства в регуляцию и повышения качества жизни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Buchner T. On the nature of heart rate variability in a breathing normal subject: a stochastic process analysis. / T. Buchner, M. Petelczyc, J. J. Zebrowski [et al.] // Chaos. – 2009. – № 19(2). – P. 428–504.
2. Brown T. E. Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. / T. E. Brown, L. A. Beightol, J. Koh [et al.] // J App Physiol. – 1993. – № 75. – P. 2310–2317.
3. Fang Y. Effect of different breathing patterns on nonlinearity of heart rate variability. / Y. Fang, J. T. Sun, C. Li [et al.] // Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. – 2008. – P. 3220–3223.
4. Jovanov E. Real-time monitoring of spontaneous resonance in heart rate variability. / E. Jovanov // Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. – 2008. – P. 2789–2792.
5. Kobayashi H. Does paced breathing improve the reproducibility of heart rate variability measurements? / H. Kobayashi // J Physiol Anthropol. – 2009. – №28(5). – P. 225–230.
6. Koskinen T. Short-term heart rate variability in healthy young adults: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. / T. Koskinen, M. Kähönen, A. Jula [et al.] // Auton Neurosci. – 2009. – Vol. 145(1-2), № 28. – P. 81–88.
7. Lehrer P. M. Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: rationale and manual for training. / P. M. Lehrer, E. Vaschillo, B. Vaschillo // Appl Psychophysiol Biofeedback. – 2000. – № 25. – P. 177–191.
8. Ng J. Autonomic effects on the spectral analysis of heart rate variability after exercise. / J. Ng, S. Sundaram, A. H. Kadish [et al.] // Am J Physiol Heart Circ Physiol. – 2009. – № 297(4). – P. 1421–1428.
9. Perakakis P. Breathing frequency bias in fractal analysis of heart rate variability. / P. Perakakis, M. Taylor, E. Martinez-Nieto [et al.] // Biol Psychol. – 2009. – № 82(1). – P. 82–88.
10. Siepmann M. A pilot study on the effects of heart rate variability biofeedback in patients with depression and in healthy subjects. / M. Siepmann, V. Aykac, J. Unterdörfer [et al.] // Appl Psychophysiol Biofeedback. – 2008. – № 33(4). – P. 195–201.
11. Shields R.W. Jr. Heart rate variability with deep breathing as a clinical test of cardiovagal function. / R.W. Jr. Shields // Cleve Clin J Med. – 2009. – № 76. – Suppl 2. – P. 37–40.
12. Stark R. Effects of paced respiration on heart period and heart period variability. / R. Stark, A. Schlenle, B. Walter [et al.] // Psychophysiology. – 2000. – № 37. – P. 302–309.
13. Song H-S. The Effects of Specific Respiratory Rates on Heart Rate and Heart Rate Variability / H. S. Song, P. M. Lehrer // Appl Psychophysiol Biofeedback. – 2003. – № 28 (1). – P. 13–23.
14. Van de Louw A. Breathing cardiovascular variability and baroreflex in mechanically ventilated patients. / A. Van de Louw, C. Médigue, Y. Papelier et al.] // Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. – 2008. – № 295(6). – P. 1934–1940.
15. Yabluchansky N. The heart rate variability (HRV) Point: Counterpoint discussion raises a whole range of questions, and our attention has also been attracted by the topic. / N. Yabluchansky, A. Kulik, A. Martynenko // J Appl Physiol. – 2007. – № 102. – P. 1715.

© Кулик О.Л., Задеріхін О.К., Шульгін В.І., Яблучанський М.І., 2009